



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 100 57 652 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 01 N 21/27**  
G 01 N 21/59

②1 Aktenzeichen: 100 57 652.4  
②2 Anmeldetag: 21. 11. 2000  
④3 Offenlegungstag: 7. 6. 2001

DE 100 57 652 A 1

③0 Unionspriorität:  
2009/99 26. 11. 1999 AT  
⑦1 Anmelder:  
AVL List GmbH, Graz, AT  
⑦4 Vertreter:  
Möbus und Kollegen, 72762 Reutlingen

⑦2 Erfinder:  
Schiefer, Erich, Dr., Graz, AT; Schindler, Wolfgang,  
Dr., Graz, AT

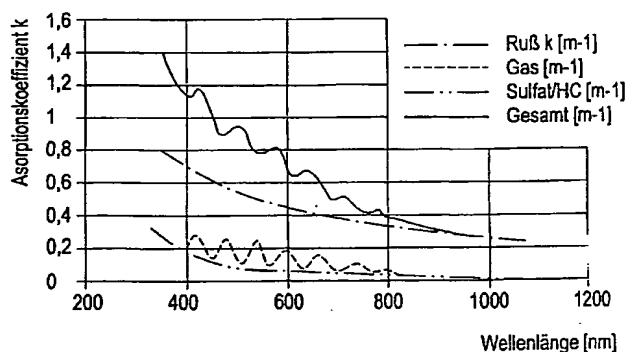
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zur Messung der Opazität in Gasen

⑤7 Der Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zur Messung der Opazität in Gasen, insbesondere in Abgasen oder in der Atmosphäre, beim oder nahe dem Maximum der Augenempfindlichkeit im grünen Wellenlängenbereich von 550 bis 570 nm Zentralwellenlänge. Um in einfacher Art und Weise die Komponenten getrennt bestimmbar zu machen, welche für die Trübung im sichtbaren Wellenlängenbereich verantwortlich sind, bzw. eine Korrektur durch Berücksichtigung weiterer, sich im sichtbaren Bereich auswirkender Komponenten zu ermöglichen, wird zusätzlich die Opazität auch in zumindest einem zweiten Wellenlängenbereich gemessen, welcher sich im Spektralbereich von 200 nm bis 2 µm befindet und sich mit dem ersten Wellenlängenbereich bestenfalls geringfügig überschneidet.

Absorption Ruß (Kohlenstoff), Gas und "streuende" Partikel



DE 100 57 652 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Messung der Opazität in Gasen, insbesondere in Abgasen oder in der Atmosphäre, beim oder nahe dem Maximum der Augenempfindlichkeit im grünen Wellenlängenbereich, von 550 bis 570 nm Zentralwellenlänge, sowie eine Vorrichtung zur Messung der Opazität in Gasen, insbesondere in Abgasen oder in der Atmosphäre, welches mit einer optischen Filtereinrichtung für den sichtbaren grünen Spektralbereich beim oder nahe dem Maximum der Augenempfindlichkeit von 550 bis 570 nm Zentralwellenlänge im Strahlengang vor zumindest einem optischen Detektor ausgerüstet und mit einer Auswertelektronik verbindbar oder versehen ist.

Bei Opazimetern wird derzeit laut Gesetz oder Norm bei einer Wellenlänge im "grünen Spektralbereich", bei einer Spitzenwellenlänge von 550 bis 570 nm und einem Cutoff von kleiner 4% der Spitzenwert-Empfindlichkeit der Peakwellenlänge für Transmissionen kleiner 420 nm und größer 680 nm, gemessen. Die Opazität ist dabei als Messung der "Trübung im sichtbaren Spektralbereich der menschlichen Augenempfindlichkeit" definiert. Die Messung in diesem Spektralbereich der "Augenempfindlichkeit" ist bewusst so gewählt, da dadurch die durch Emissionen hervorgerufene Trübung der Atmosphäre bzw. "Smogbildung" überprüft werden sollte. Alternativ wird sehr oft auch der "k-Wert" in diesem Spektralbereich als Maß für die Trübung verwendet, wobei die beiden Werte mathematisch durch das Lambert Beer'sche Gesetz ineinander umrechenbar sind:

$100\text{-Opazität} = 100 \cdot \text{EXP}(-k \cdot L)$ , mit  $L$  = Messzellenlänge, bzw. Messweglänge

Hauptsächlich werden/wurden durch die Opazitätsmessung die "schwarzen" Rußpartikel erfasst, bzw. es wird derzeit in den Gesetzgebungen und gesetzlich vorgeschriebenen Überprüfungen angenommen, dass die Trübung bzw. der k-Wert im grünen Spektralbereich nur durch Rußpartikel hervorgerufen wird. Bei den derzeit verwendeten Opazimetern mit der Messung der Opazität im "sichtbaren Spektralbereich" bei nur einer definierten Wellenlänge kann also nicht unterschieden werden, ob der Messwert "Opacity" oder k-Wert (in  $\text{m}^{-1}$ ) real durch Ruß oder nicht auch durch andere Abgaskomponenten hervorgerufen wird.

Bei Motoren können aber in Wirklichkeit auch potentiell Abgaskomponenten (beispielsweise einige Stickstoffverbindungen, insbesondere  $\text{NO}_2$ ) auftreten, welche ebenfalls in diesem Spektralbereich absorbieren und eine Trübung hervorrufen können. Diese zusätzlichen Komponenten werden bei den herkömmlichen Opazimeter-Systemen fälschlicherweise als "Ruß" mitgemessen. Bei Motorkonzepten welche in früheren Jahren verwendet wurden war real der durch die Rußemission hervorgerufene Anteil an der Opazität dominierend, dies ist aber nicht mehr für die derzeitigen und künftigen Generationen von Motoren gültig.

Bei modernen Motorkonzepten, beispielsweise mit CRT (Continuous Regenerating Type) Abgasnachbehandlung, werden Ruß-Partikel größtenteils katalytisch oxidiert, andererseits wird aber ein Teil der im Abgas vorhandenen  $\text{NO}$  Konzentrationen durch diese katalytischen Prozesse in  $\text{NO}_2$  umgewandelt.  $\text{NO}_2$  ist aber eine Gaskomponente, welche im grünen Opazimeter-Spektralbereich ebenfalls absorbiert und als "Ruß" mitgemessen wird. Andererseits können auch "weiße", nicht absorbierende, Partikel auftreten (beispielsweise Sulfate mit angelagertem Wasser oder auch andere partikelförmige Reaktionsprodukte wie kondensierende Kohlenwasserstoffe), welche durch die Abschwächung des Lichtes infolge einer Lichtstreuung ebenfalls einen Messef-

fekt hervorrufen können.

Ebenso kann mit den Messgeräten, welche im mittleren IR-Bereich messen, eine derartige Diskriminierung nicht durchgeführt werden, insbesondere nicht für Sulfate und für  $\text{NO}_2$ .  $\text{NO}_2$  kann in Motorabgasen mittels IR Absorption durch die hohe Querempfindlichkeit mit dem im Abgas vorhandenen Wasserdampf nicht korrekt gemessen werden, bzw. das Wasser kann auch nicht für diese Messung mittels einer Gaskühlung entfernt werden, da  $\text{NO}_2$  in Wasser löslich ist und dabei gleichzeitig mit entfernt wird. Die Messung der  $\text{NO}_2$  Konzentration kann derzeit nur durch Chemolumineszenz Detektoren (CLD) und dabei aber auch nur indirekt mittels einer Differenzmessung ( $\text{NO}_x - \text{NO} = \text{NO}_2$ ) erfolgen.

Sulfatpartikel können im IR-Bereich aus ähnlichen Gründen ebenfalls nicht gemessen werden, insbesondere ist eine direkte Messung des durch die Lichtstreuung der Sulfatpartikel hervorgerufenen Anteils der Opazität im sichtbaren Spektralbereich nicht im IR Bereich messbar. Dasselbe gilt auch für die durch nichtabsorbierende aber kondensierte und damit ebenfalls lichtstreuenden HC-Partikelanteile.

Alle derzeit im IR-Bereich vorhandenen Konzepte für die Gesamtpartikelmessung beruhen auf Messungen der HC-Gesamtkonzentrationen (als Gas oder als Gas + Partikel) und Rückrechnungs-Modellen (so auch die Beispiele in der EP 0 094 374 und der EP 0 123 458). Ein Teil der derzeitigen für die HC-Partikelberechnung vorhandenen Konzepte beruht auf komplizierten Messungen bei verschiedenen Temperaturen, Filterung des Gases Messung der vorhandenen "gasförmigen" HC-Konzentration und einer Rückkalkulation der Partikelanteile, wie dies in der EP 0 616 205 dargestellt ist.

Eine direkte Messung der "Trübung" durch die Lichtstreuung, welche für den sichtbaren grünen Spektralbereich noch mit maßgeblich ist, ist aus physikalischen Gründen im IR-Bereich nicht möglich, da durch die Proportionalität des Effektes zur 4ten Potenz des Verhältnisses von Lichtwellenlänge zur Partikelgröße, im IR faktisch keine Lichtstreuung für Partikel aus Motorabgasen vorhanden ist.

Eine Rückkalkulation wie sie zumindest bei Messungen der Gesamt-Absorptionsspektren des Abgases im IR (NIR bis FIR) mit schnellen und hochauflösenden FTIR Systemen, welche aber extrem teuer und aufwendig sind, – auch für  $\text{NO}_2$  – theoretisch möglich sein könnte, scheitert letztendlich auch an der Tatsache, dass die momentanen dynamischen Verhältnisse, welche beispielsweise bei der freien Beschleunigung auftreten, und durchaus maßgeblich die momentane Zusammensetzung der Partikel beeinflussen, nicht aus den erhaltenen Daten rückkalkulierbar sind. Dasselbe gilt auch für Messungen mit Laserdioden, wie etwa in der EP 0 920 285 beschrieben, wobei auch dort nur Ruß und HC gemessen werden.

Alle derzeitigen Methoden können durch die starken Unterschiede zwischen den Wellenlängenbereichen "mittleres IR" die im sichtbaren Spektralbereich vorhandenen Bedingungen nicht oder nur sehr unvollständig beschreiben.

In der DE 25 57 268 ist ein Verfahren zur Extinktionsmessung beschrieben, das beispielsweise zur Bestimmung der Rauchdichte in Schornsteinen, aber auch zur Messung der Staubkonzentration an Arbeitsplätzen, der Immission in der Umgebung von Kalkwerken und zur Ermittlung der Sichtweite bei Nebel an Autobahnen und auf Flughäfen verwendet werden kann. Dabei wird durch Extinktionsmessung bei zwei verschiedenen Wellenlängen eine Unterscheidung zwischen absorbierenden und nicht absorbierenden Partikeln möglich gemacht, primär zwischen Ruß bzw. Aerosolpartikeln und dampfförmigem Wasser. Dagegen wird nicht ermittelt, in welcher Weise und in welchem Ausmaß eine

Opazität in einem bestimmten Wellenlängenbereich den Wert für die Opazität in einem anderen Wellenlängenbereich beeinflusst.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung war daher ein Verfahren, welches in einfacher Art und Weise unter Vermeidung der oben beschriebenen Nachteile des Standes der Technik die Komponenten getrennt bestimmbar macht, welche für die Trübung im sichtbaren Wellenlängenbereich verantwortlich sind, bzw. welches für die Messung der Opazität aufgrund der Ruß-Partikel eine Korrektur durch Berücksichtigung weiterer, sich im sichtbaren Bereich auswirkender Komponenten gestattet. Eine weitere Aufgabe war eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Zur Lösung der obigen Aufgabe ist das eingangs genannten Verfahren dadurch gekennzeichnet, dass die Opazität zusätzlich auch in zumindest einem zweiten Wellenlängenbereich gemessen wird, welcher sich im Spektralbereich von 200 nm bis 2 µm befindet und sich mit dem ersten Wellenlängenbereich bestenfalls geringfügig überschneidet.

Die Erfindung beruht darauf, dass überraschend festgestellt wurde, dass durch die Verwendung von zumindest einem zusätzlichen Farbfilter und damit Messung in einem weiteren Wellenlängenbereich unterschieden werden kann, welcher Anteil der gemessenen Opazität (oder des k-Wertes) durch beispielsweise die Rußpartikel und welcher Anteil durch andere Komponenten, beispielsweise durch Streulicht kleinsten, nicht absorbierender Partikel und/oder durch andere lichtabsorbierende Gaskomponenten wie NO<sub>2</sub> hervorgerufen wird.

Gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung ist vorgesehen, dass die Messwerte von zumindest einem zusätzlich verwendeten Wellenlängenbereich automatisch mit dem Messwert des grünen Wellenlängenbereiches verglichen werden, und dass daraus eine Korrektur für den Messwert im grünen Wellenlängenbereich errechnet wird.

Vorteilhafterweise können alle die Signale aller verwendeten Wellenlängenbereiche automatisch miteinander verglichen und daraus automatisch der Signalanteil zumindest einer weiteren, zur Opazität im grünen Wellenlängenbereich beitragenden Komponente ermittelt wird.

Wenn gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung zumindest eine zusätzliche Messung in einem Bereich mit der Zentralwellenlänge von 300 bis 450 nm vorgenommen wird, kann der Anteil der gemessenen Opazität (oder des k-Wertes) der im grünen Spektralbereich durch "weiße", streuende Partikel hervorgerufen wird, festgestellt bzw. kalkuliert werden. Dies ist möglich, da erkannt wurde, dass für die k-Werte die durch Lichtstreuung an kleinen Partikeln hervorgerufenen Effekte proportional der 4-ten Potenz der Lichtwellenlänge sind, während der von der Ruß-Absorption hervorgerufene Effekt linear von der Wellenlänge des Filters abhängig ist.

Wenn alternativ dazu oder zusätzlich noch zumindest eine zusätzliche Messung in einem Bereich mit der Zentralwellenlänge von 600 nm bis 2 µm vorgenommen wird, können damit der Beitrag der meisten Gaskomponenten, welche ebenfalls im grünen Spektralbereich einen Messeffekt hervorrufen können, und der durch das Streulicht verursachte Signalanteil ermittelt werden, so dass diese Anteile für die Korrektur des Messwertes im sichtbaren Bereich berücksichtigt werden können und der Beitrag des "Rußes" wesentlich genauer ermittelt werden kann.

Vorzugsweise liegt dabei die Zentralwellenlänge der zusätzlichen Messung im Bereich von 600 nm bis 1,2 µm.

Gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung ist beim beschriebenen Verfahren vorgesehen, dass die Messungen in den verschiedenen Wellenlängenbereichen automatisch gesteuert nacheinander ausgeführt werden, so dass ein ma-

nueller Eingriff vermieden und die Mess-Serie rasch und einfach durchführbar ist.

Noch schneller, wenn auch mit etwas größerem apparativen Aufwand kann das erfindungsgemäße Verfahren nach einem der vorhergehenden Absätze durchgeführt werden, wenn die Messungen in allen Wellenlängenbereichen gleichzeitig ausgeführt werden.

Die eingangs beschriebene Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist zur Lösung der gestellten Aufgabe dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich zumindest eine zweite optische Filtereinrichtung für einen zweiten Wellenlängenbereich vorgesehen ist, dessen Zentralwellenlänge sich im Spektralbereich von 200 nm bis 2 µm befindet und der sich mit dem ersten Wellenlängenbereich bestenfalls geringfügig überschneidet.

Vorteilhafterweise ist die Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswertelektronik mit einer Schaltung oder einem Programm versehen ist, welche(s) die Messwerte automatisch abfragt und daraus automatisch eine Korrektur für den Messwert im grünen Wellenlängenbereich errechnet.

Gemäß einem weiteren Erfindungsmerkmal kann die Auswertelektronik mit einer Schaltung oder einem Programm versehen sein, welche(s) die Messwerte in allen verwendeten Wellenlängenbereichen automatisch abfragt und daraus automatisch Werte errechnet, um die Signalanteile zumindest einer für die Opazität im grünen Wellenlängenbereich verantwortlichen Komponente von ebenfalls in diesem Wellenlängenbereich absorbierenden anderen Komponenten zu unterscheiden.

Um den Anteil der gemessenen Opazität (oder des k-Wertes), der im grünen Spektralbereich durch "weiße", streuende Partikel hervorgerufen wird, zu bestimmen, ist gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung zumindest eine zusätzliche optische Filtereinrichtung für einen Wellenlängenbereich mit der Zentralwellenlänge im Bereich von 300 bis 450 nm vorgesehen.

Andererseits kann, auch zusätzlich oder alternativ zum eben genannten Merkmal, zumindest eine zusätzliche optische Filtereinrichtung für einen Wellenlängenbereich mit der Zentralwellenlänge im Bereich von 600 bis 2 µm vorgesehen sein, wodurch dann der Beitrag der meisten Gaskomponenten im grünen Spektralbereich und auch der Beitrag des Streulichts im grünen Spektralbereich ermittelt und zur Korrektur des Messwertes auf den durch den Ruß hervorgerufenen Beitrag verwendet werden kann.

Vorzugsweise ist dabei vorgesehen, dass die zusätzliche optische Filtereinrichtung für einen Wellenlängenbereich mit der Zentralwellenlänge im Bereich von 600 bis 1,2 µm vorgesehen ist.

Eine manuelle Betätigung wird vermieden, wenn die optischen Filtereinrichtungen tragende Schieber, Schwenkarme, drehbare Scheiben od. dgl. zum Einschieben oder Einschwenken der oder aller optischen Filtereinrichtungen in den Strahlengang vor dem Detektor vorgesehen sind. Damit ist der Messvorgang gänzlich automatisierbar und auch einfacher und rascher durchführbar als von Hand.

Vorteilhafterweise kann für einen kompakten und einfachen Aufbau vorgesehen sein, dass eine Blende mit vor den Detektor bewegbaren Öffnungen vorgesehen ist, in welchen Öffnungen die optischen Filtereinrichtungen eingesetzt sind.

Dabei ist vorzugsweise für den vollautomatischen Betrieb der Vorrichtung eine Antriebseinrichtung für die Blende vorgesehen und mit der Auswertelektronik verbunden.

Andererseits kann gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung vorgesehen sein, dass parallel mehrere Detektoren vorgesehen und mit einer gemeinsamen Auswertelek-

tronik verbunden sind, wobei im Strahlengang vor jedem Detektor zumindest je eine optische Filtereinrichtung vorgesehen ist. Damit ist die Messung schneller durchführbar, so dass auch schnell wechselnde Verhältnisse in Echtzeit mitverfolgt werden können.

In der nachfolgenden Beschreibung soll die Erfindung anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels für die Rußpartikel-Messung näher erläutert werden.

Es konnte festgestellt werden, dass insbesondere bei modernen Motorkonzepten durchaus ein maßgeblicher Anteil der "Opazität" durch andere Komponenten außer Rußpartikeln, nämlich insbesondere durch NO<sub>2</sub>, aber teils auch durch "transparente" nicht absorbierende Partikel, wie Sulfate und an diesen Sulfatpartikeln angelagertes Wasser, stammen kann.

Überraschend wurde festgestellt, dass durch die Verwendung zumindest eines weiteren "optischen Filters" im sichtbaren Spektralbereich oder auch im nahen Infrarotbereich bis max. ca. 2 µm die durch diese Komponenten hervorgerufenen Anteile des Messwertes im grünen Spektralbereich, d. h. der insgesamt gemessenen Opazität, ermittelt werden können und damit die im grünen Spektralbereich gemessene "Opazität" in die Anteile, welche durch "Ruß", durch NO<sub>2</sub>, und durch "Sulfate, oder auch andere kondensierte HC-Partikel" hervorgerufen werden, selektiv aufgetrennt werden kann.

Dabei ist von besonderer Bedeutung, dass durch diese erfindungsgemäße Art der Messung im sichtbaren – nicht im mittleren Infrarot-Spektralbereich – erstmals die Möglichkeit besteht, die Komponente NO<sub>2</sub> und die durch die Trübung von NO<sub>2</sub> hervorgerufenen Anteile an der Opazität (bzw. dem k-Wert) im grünen "Opazitäts-Spektralbereich" zu selektieren, und auch zusätzlich die durch Sulfat-Partikel (und auch der in diesem Spektralbereich nichtabsorbierenden HC-Partikel) verursachten Beiträge getrennt zu messen. Es ist damit weiters aber auch die Messung der Konzentration von NO<sub>2</sub>, wenn das Meßsystem mittels eines NO<sub>2</sub> Kalibriergases kalibriert wird, erstmals direkt möglich.

Weiters bietet die neue Erfindung die Möglichkeit, auch für künftige Abgasüberprüfungen den bei der freien Beschleunigung von Motoren emittierten Rußanteil und gleichzeitig emittierten NO<sub>2</sub>-Anteil getrennt und hochdynamisch zu überprüfen. Bei normalen Leerlaufmessungen oder mit den derzeit verwendeten Opacimetern kann der NO<sub>2</sub> Ausstoß nicht gemessen werden. Die Überprüfung von Fahrzeugen oder Motoren ist damit mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der entsprechenden Vorrichtung sowie der zur Auswertung angewandten Methode wesentlich einfacher durchzuführen.

Ein weiterer nicht zu vernachlässigender Vorteil dieser Erfindung ist auch darin zu sehen, dass das verwendete Konzept im Vergleich zu anderen Messkonzepten wie FTIR oder MID NDIR- oder Laser-Dioden Messungen wesentlich kostengünstiger und einfacher zu bewerkstelligen ist und zusätzlich die üblichen robusten Hardwarekonzepte für Opazitätsmessgeräte (Vollstrom bis Teilstrom) verwendet werden können. Hintergrund ist, dass die Rußpartikel stark absorbieren und durch ihre übliche Größenverteilung der Konzentrationsproportionale k-Wert der Rußpartikel linear von der Lichtwellenlänge abhängt.

Andererseits absorbieren die meisten Gaskomponenten, welche ebenfalls im grünen Spektralbereich einen Messeffekt hervorrufen können, im "roten, sichtbaren Spektralbereich" oder auch nahen IR-Bereich nicht mehr oder zumindest wesentlich weniger, ebenso werden im roten Spektralbereich die Effekte durch das Streulicht bereits wesentlich kleiner bzw. vernachlässigbar sein, so dass dort nur mehr "Ruß" gemessen wird, und durch einen Formalismus die

Anteile getrennt messbar sind.

Für den Fall, dass ein wesentlicher Anteil der gemessenen Opazität (oder des k-Wertes) im grünen Spektralbereich durch "weiße", streuende Partikel hervorgerufen wird, kann durch Verwendung eines alternativen oder zusätzlichen Filters im "blauen oder nahen UV-Bereiche" der dadurch hervorgerufene Effekt ebenfalls diskriminiert werden. Die durch Lichtstreuung an kleinen Partikeln hervorgerufenen Effekte sind proportional der 4-ten Potenz der Lichtwellenlänge, während, wie bereits oben erwähnt, der von der Ruß-Absorption hervorgerufene Effekt linear von der Wellenlänge des Filters abhängig ist.

Die Messung der verschiedenen Komponentenanteile kann deshalb dadurch erfolgen, dass der Grünfilter des Messgerätes einerseits – beispielsweise durch einen Schieber manuell, oder auch automatisch, – durch ein Filter im roten (oder auch nahen IR) Spektralbereich und/oder durch ein Filter im blauen Spektralbereich (oder im nahen UV-Bereich) ersetzt wird. Alternativ können auch gleichzeitig zwei oder auch mehrere Detektoren mit verschiedenen spektralen Filtern ausgerüstet sein, oder die Filter nacheinander, beispielsweise durch ein Chopperrad, in den Strahlengang eingebracht werden. Damit kann die Messung in allen Wellenlängenbereichen gleichzeitig oder zumindest schnell hintereinander erfolgen.

Im ersten Fall muss die Auswertung entweder nach der Messung extern oder auch, vorzugsweise programmgesteuert, intern erfolgen. Dabei ist überhaupt die zuerst beschriebene Variante für langfristig konstante Messungen geeignet, während für schnelle dynamische Messvorgänge die zweite Alternative verwendet werden muss.

Durch diverse Umrechnungsalgorithmen können damit aus den zwei oder drei Messwerten, die im grünen, normierten Spektralbereich von Ruß oder auch anderen Komponenten verursachten Absorptionsanteile selektiv gemessen werden. Die Konzentration, der k-Wert-Anteil oder auch der Beitrag zur Opazität, welche durch die anderen absorbierenden Komponenten, wie beispielsweise NO<sub>2</sub> und lichtstreuende Partikel, verursacht sind, kann also damit außerdem zusätzlich ermittelt werden. Durch dieses Messprinzip und die Auswertung kann damit unterschieden werden, welcher Anteil der im grünen Spektralbereich hervorgerufenen Opazität bzw. des k-Wertes durch Ruß, ein Gas wie NO<sub>2</sub>, oder von streuenden Partikeln wie Sulfaten oder HCs hervorgerufen wird. Es können weiters auch die Konzentrationen der gasförmigen Komponenten kalibriert und kalkuliert werden. Aus dem korrigierten Opazitäts- oder k-Wert für "Ruß" kann ebenfalls die echte Konzentration berechnet bzw. gemessen werden, da der k-Wert direkt proportional der Konzentration von Ruß ist. Die Bestimmung der Konzentration der Sulfat- oder HC-Partikelanteile kann mit dieser Methode ebenfalls – zumindest grob – erfolgen, wobei hier selektiv nur die als Partikel anfallenden Konzentrationen berechenbar sind. Durch die vorhandene Variation der Größenverteilung der rein streuenden Partikel ist die Messgenauigkeit der Konzentrationsberechnung nur eingeschränkt möglich. Die Mess- bzw. Kalkulationsgenauigkeit des durch diese Partikel hervorgerufenen k-Wert Anteiles in den verschiedenen Spektralbereichen wird aber dadurch nicht eingeschränkt.

Bei Verwendung von drei Filtern bei Vorhandensein von drei zu berücksichtigenden Komponenten oder von zwei Filtern und dem Vorhandensein von nur zwei Komponenten ist damit also auch eine Konzentrationsberechnung möglich.

Zur Vermeidung von allfälligen Querempfindlichkeiten müssen die zusätzlichen Spektralbereiche, insbesondere im nahen IR Bereich, derart gewählt werden, dass keine oder nur minimalste Absorptionen oder Messeffekte durch den im Messgas vorhandenen Wasserdampf oder CO<sub>2</sub> Gehalt

hervorgerufen werden.

Ein derartiges Kalkulationsbeispiel für Messung und Auswertung wird beispielhaft nachfolgend dargelegt, ebenso wie ein Ausführungsbeispiel für eine erfindungsgemäße Vorrichtung. Die Fig. 1 zeigt dabei die spektrale Empfindlichkeit für ein beispielhaftes System mit drei Filtern in der Messzelle, Fig. 2 zeigt spektral aufgelöste Messwerte, welche durch Konzentrationen von Ruß, streuenden Partikeln und einem absorbierenden Gas hervorgerufen werden, Fig. 3 ist ein schematischer Längsschnitt durch ein erfindungsgemäßes Opazimeter, Fig. 4 ist ein Längsschnitt durch die Lampeneinheit der Fig. 3 in vergrößertem Maßstab, Fig. 5 zeigt einen vergrößerten Längsschnitt durch die Detektoreinheit der Fig. 3, die Fig. 6a und 6b zeigen jeweils eine Draufsicht auf einen Filtereinsatz für ein erfindungsgemäßes Opazimeter und Fig. 7 ist eine Draufsicht auf eine Filterplatte für ein derartiges Opazimeter.

Das System ist beispielsweise auch für die Gaskomponente NO<sub>2</sub> kalibrierbar und es kann damit auch der bei der Beschleunigungsphase – beispielsweise der freien Beschleunigung – emittierte NO<sub>2</sub> Emissionswert zusätzlich zum Ruß-Emissionswert hochdynamisch gemessen werden. Die Kalkulation der einzelnen Konzentrationen der verschiedenen Komponenten, oder deren k-Werte bzw. Opazitäten (bei einer bestimmten Wellenlänge) kann durch die Verwendung üblicher mathematischer Matrixfunktionen erfolgen. Beispielsweise kann der in den obigen Fig. 1 und 2 dargestellte Fall für die drei Filter und die drei Komponenten im grünen Spektralbereich folgendermaßen, beispielsweise für den k-Wert, gelöst werden:

Die von den drei verschiedenen Filtern gemessenen Werte k-Werte werden mit einer transponierten Kalibriermatrix multipliziert und es können daraus die im grünen Spektralbereich von den einzelnen Komponenten hervorgerufenen Anteile des k-Wertes kalkuliert werden. Diese Kalibriermatrix ergibt sich teils aus den rein physikalisch/mathematischen Zusammenhängen für Streuung und Absorption. Bei Vorhandensein nichtlinearer Abhängigkeiten, wie für Gase, ist eine Kalibrierung möglich.

Werte (Ruß, Gas, Streuende Partikel) = Transponierte Kalibrier Matrix · (Messwerte (Filter1, Filter2, Filter3))

Die Kalibriermatrix ist in diesem Fall eine 3 × 3 Matrix folgenden Typs:

KR(F1), KR(F2), KR(F3),  
KG(F1), KG(F2), KG(F3),  
KS(F1), KS(F2), KS(F3).

KR, KG, KS sind Kalibrierfaktoren für Ruß, Gas und streuende Partikel.

F1, F2 und F3 repräsentieren die drei Filter.

Da die Werte in der Kalibriermatrix zumindest teils funktionell zusammenhängen, kann selbstverständlich auch der k-Wert und/oder die Opazität und und/oder die Konzentration für die Spektralbereiche der anderen Filter oder auch für "theoretische Filter", welche nicht verwendet wurden, kalkuliert werden. Allfällige Nichtlinearitäten müssen bei Kalkulationen hierbei aber berücksichtigt werden.

Sinnvollerweise soll die Kalibriermatrix als k-Werte-Matrix erstellt werden, da dadurch die Kalibrierung des Messsystems, das Auftreten in die verschiedenen Komponentenanteile und die Kalkulationen und Berechnungen von Konzentration, k-Wert und Opazität wesentlich vereinfacht werden können. Die Berechnung von Opazität und Konzentration aus den k-Werte Anteilen kann anhand des Lambert-Beer'schen Gesetzes erfolgen. Es ist zwar auch eine Kalibriermatrix in Opazitäts- oder Konzentrationseinheiten möglich, allerdings sind dann die sich ergebenden Kalibrierma-

trixwerte zumindest teils nichtlineare Funktionen der einzelnen Komponentengrößen und müssen iterativ, abhängig von den Messwerten selbst, angepasst werden. Eine derartige Prozedur erfordert unnötigen Kalibrier- und Berechnungsaufwand.

Ein erfindungsgemäßes Opazimeter könnte beispielsweise aufgebaut sein, wie dies in den Fig. 3 bis 7 dargestellt ist und nachfolgend erläutert wird. In einem Gehäuse oder Rahmen 1 ist ein Messrohr 2 gelagert. In dieses Messrohr wird über den Anschluss 3 das zu analysierende Gas eingebracht. Gegenüber dem Anschluss 3 ist vorteilhafterweise ein Prallblech 4 vorgesehen. An den beiden Enden des Gehäuses 1 sind Austrittskammern 5 vorgesehen, in welche das Messrohr 2 mündet und welche gegenüber diesen Mündungen mit beheizbaren Fensterelementen 6 abgeschlossen sind. An einer Seite ist nun hinter vorzugsweise einer Blende 7 eine Detektoreinheit mit einem Detektor 8 zur Ermittlung der Intensität des das Messrohr 2 durchquerenden Lichts einer am gegenüberliegenden Ende des Messrohrs 2 befindlichen Lampeneinheit vorgesehen.

Die ebenfalls mit einer Blende 7 ausgestattete Lampeneinheit beinhaltet eine oder mehrere Lampen 9, vorzugsweise Halogenlampen, sowie zumindest einen weiteren Farbfilter 10, der in einem vorzugsweise automatisch im Strahlengang der Lampeneinheit verschiebbaren Schieber 11 oder einer gleichartigen Einheit eingesetzt ist.

Das Gas tritt nach Durchströmen des Messrohrs 2 und der Austrittskammern 5 über die Ausgangsanschlüsse 12 aus der Vorrichtung aus.

Der Filtereinsatz 11 für die Aufnahme der verschiedenen Messfilter 10 in den zumindest zwei Spektralbereichen ist beispielhaft auf der Seite der Lampeneinheit untergebracht, kann sich aber alternativ selbstverständlich auch auf der Detektorseite befinden.

In Fig. 4 ist eine beispielhafte Lampeneinheit in vergrößertem Maßstab dargestellt. Zwischen der Fenstereinheit 13 für das elektrisch über die Anschlussbuchse 14 beheizbare Fensterelement 6 und dem Lampengehäuse 15 ist der automatisch oder manuell betätigbare Schieber 11 (siehe auch Fig. 6b) für die Farbfilter eingesetzt. Im Lampengehäuse 15 sind die Halterung 16 für die Halogenlampen 9 sowie die Anschlussbuchse 17 für deren Stromversorgung eingebaut. Anstelle des in seiner Längsrichtung verschiebbaren Filtereinsatzes 11 kann auch eine Einrichtung mit einem rotierenden Filterrad 18 (siehe Fig. 6a), in welches die Filter 10 eingesetzt sind, verwendet werden.

Eine andere Ausführungsform der Erfindung kann vorsehen, dass die Detektoreinheit mit einer Detektorplatte 19 (siehe Fig. 7) ausgerüstet ist. Auf dieser Platte 19 können dann mehrere Detektoren 8 vorhanden sein, vor welche die Farbfilter 10 in den Strahlengang einschiebbar sind. Es können aber auch zumindest zwei separate Detektor-Farbfilter-Einheiten 20 vorgesehen sein, wobei in diesem Fall eine Anordnung ohne eigenen Filtereinsatz 11 oder Filterrad 18 verwendet werden kann, was insbesondere für hochdynamische Messungen mit gleichzeitiger Messung in allen Spektralbereichen gleichzeitig vorteilhaft ist.

Eine Detektoreinheit mit Detektorplatte 19 ist vergrößert in Fig. 5 dargestellt. Hinter dem beheizbaren Fensterelement 6 in der Fenstereinheit 13 und einer Linse 21 ist die Detektorplatte 19 montiert und über die Anschlussbuchse 22 durch das Detektorgehäuse 23 hindurch mit der Stromversorgung und der Auswertelektronik verbunden.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung der Opazität in Gasen, insbesondere in Abgasen oder in der Atmosphäre, beim

oder nahe dem Maximum der Augenempfindlichkeit in einem ersten, grünen Wellenlängenbereich von 550 bis 570 nm Zentralwellenlänge, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Opazität zusätzlich auch in zumindest einem zweiten Wellenlängenbereich gemessen wird, welcher sich im Spektralbereich von 200 nm bis 2 µm befindet und sich mit dem ersten Wellenlängenbereich bestenfalls geringfügig überschneidet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Messwerte von zumindest einem zusätzlich verwendeten Wellenlängenbereich automatisch mit dem Messwert des grünen Wellenlängenbereiches verglichen werden, und dass daraus eine Korrektur für den Messwert im grünen Wellenlängenbereich errechnet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Signale aller verwendeten Wellenlängenbereiche automatisch miteinander verglichen und dass daraus automatisch der Signalanteil zumindest einer weiteren, zur Opazität im grünen Wellenlängenbereich beitragenden Komponente ermittelt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Opazität zusätzlich zumindest in einem Bereich mit der Zentralwellenlänge von 300 bis 450 nm gemessen wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Opazität zusätzlich zumindest in einem Bereich mit der Zentralwellenlänge von 600 nm bis 2 µm gemessen wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Zentralwellenlänge der zusätzlichen Messung im Bereich von 600 nm bis 1,2 µm liegt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messungen in den verschiedenen Wellenlängenbereichen automatisch gesteuert nacheinander ausgeführt werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, durch gekennzeichnet, dass die Messungen in allen Wellenlängenbereichen gleichzeitig ausgeführt werden.

9. Vorrichtung zur Messung der Opazität in Gasen, insbesondere in Abgasen oder in der Atmosphäre, welche mit einer optischen Filtereinrichtung für den sichtbaren grünen Spektralbereich beim oder nahe dem Maximum der Augenempfindlichkeit von 550 bis 570 nm Zentralwellenlänge im Strahlengang vor zumindest einem optischen Detektor (8) ausgerüstet und mit einer Auswerteelektronik verbindbar oder versehen ist, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich zumindest eine zweite optische Filtereinrichtung (10) für einen zweiten Wellenlängenbereich vorgesehen ist, dessen Zentralwellenlänge sich im Spektralbereich von 200 nm bis 2 µm befindet und der sich mit dem ersten Wellenlängenbereich bestenfalls geringfügig überschneidet.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteelektronik mit einer Schaltung oder einem Programm versehen ist, welche(s) die Messwerte automatisch abfragt und daraus automatisch eine Korrektur für den Messwert im grünen Wellenlängenbereich errechnet.

11. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteelektronik mit einer Schaltung oder einem Programm versehen ist, welche(s) die Messwerte in allen verwendeten Wellenlängenbereichen automatisch abfragt und daraus automatisch Werte errechnet, um die Signalanteile zumindest einer für die Opazität im grünen Wellenlängenbereich verantwortlichen Komponente von ebenfalls in diesem Wellenlängenbereich absorbierenden anderen Kompo-

nenten zu unterscheiden.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine zusätzliche optische Filtereinrichtung (10) für einen Wellenlängenbereich mit der Zentralwellenlänge von 300 bis 450 nm vorgesehen ist.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine zusätzliche optische Filtereinrichtung für einen Wellenlängenbereich mit der Zentralwellenlänge von 600 bis 2 µm vorgesehen ist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine zusätzliche optische Filtereinrichtung (10) für einen Wellenlängenbereich mit der Zentralwellenlänge von 600 bis 1,2 µm vorgesehen ist.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die optischen Filtereinrichtungen (10) tragende Schieber, Schwenkarme, drehbare Scheiben od. dgl. (11, 18) zum Einschieben oder Einschwenken der oder aller optischen Filtereinrichtungen (10) in den Strahlengang vor dem Detektor (8) vorgesehen sind.

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass eine Blende (18) mit vor den Detektor (8) bewegbaren Öffnungen vorgesehen ist, in welchen Öffnungen die optischen Filtereinrichtungen (10) eingesetzt sind.

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass eine Antriebseinrichtung für die Blende (11, 18) vorgesehen und mit der Auswerteelektronik verbunden ist.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass parallel mehrere Detektoren (8, 20) vorgesehen und mit einer gemeinsamen Auswerteelektronik verbunden sind, wobei im Strahlengang vor jedem Detektor zumindest je eine optische Filtereinrichtung (10, 20) vorgesehen ist.

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

FIG. 1

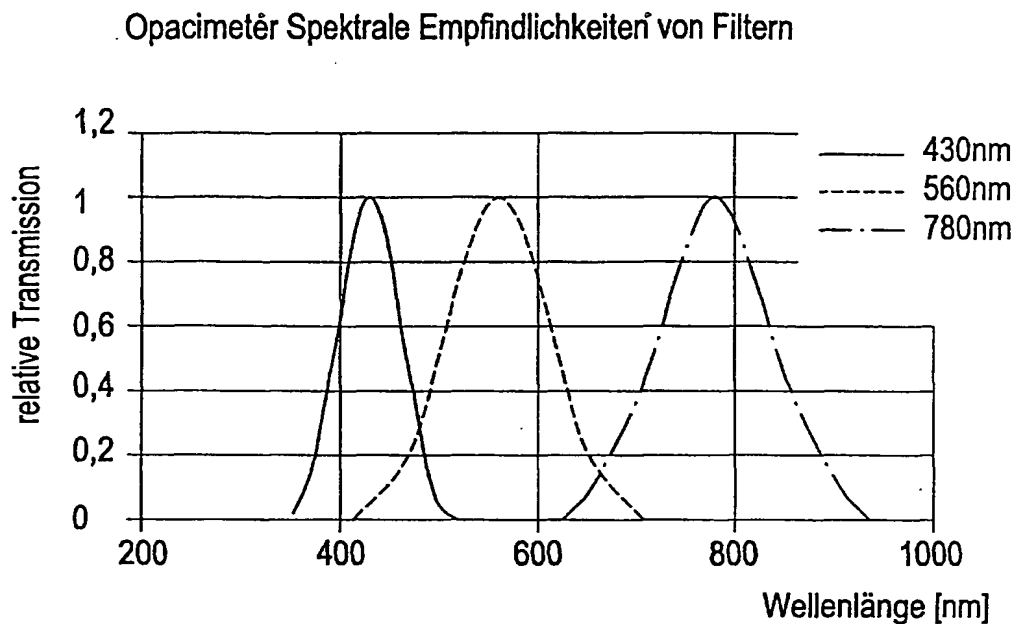


FIG. 2

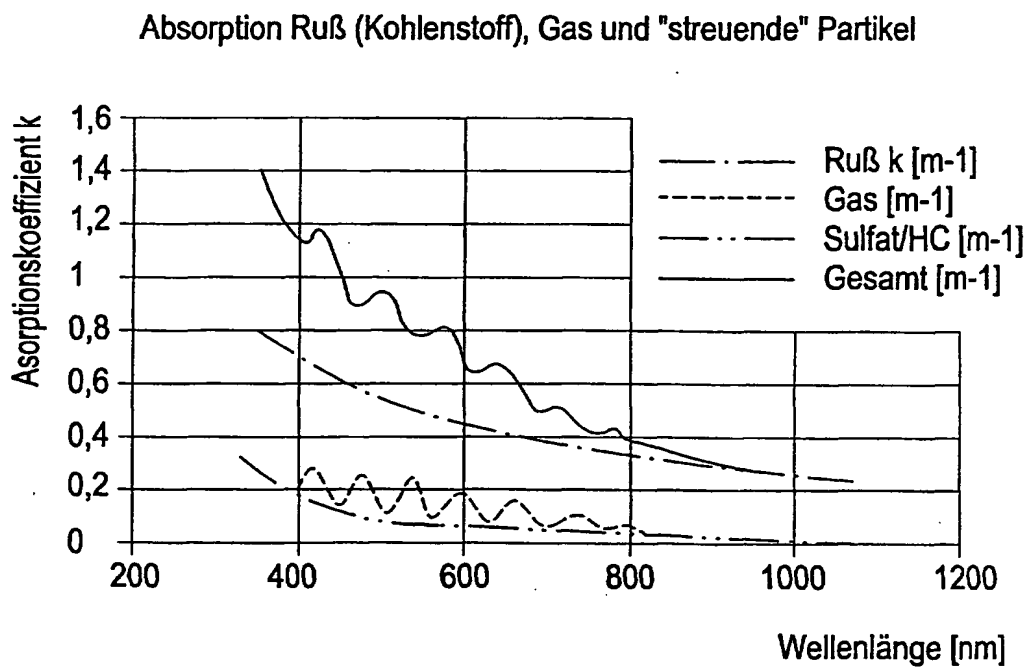


FIG. 3

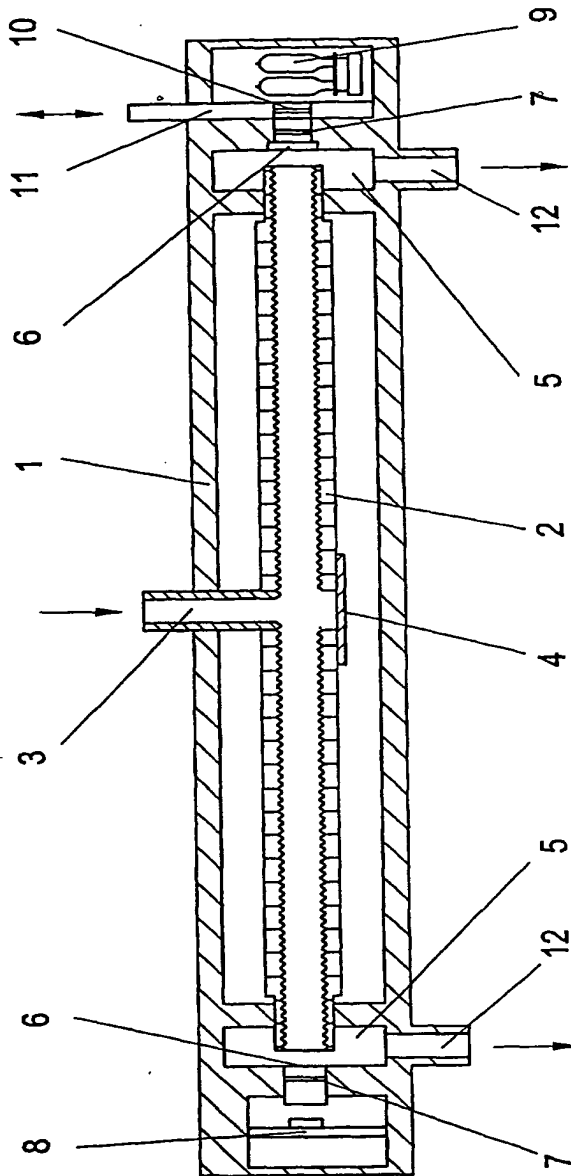




FIG. 4

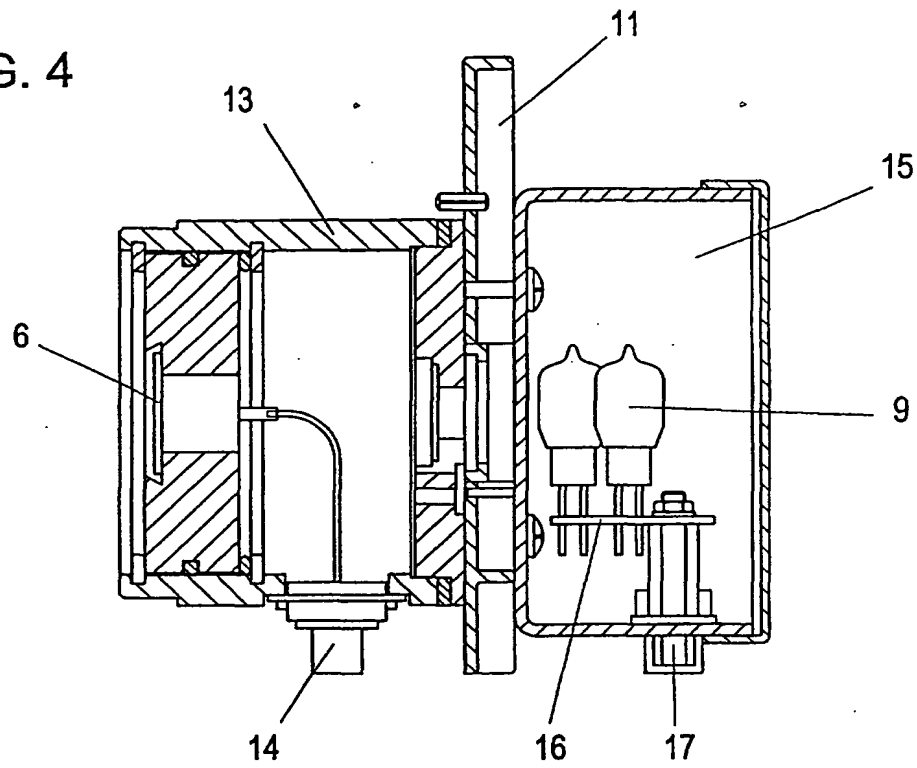
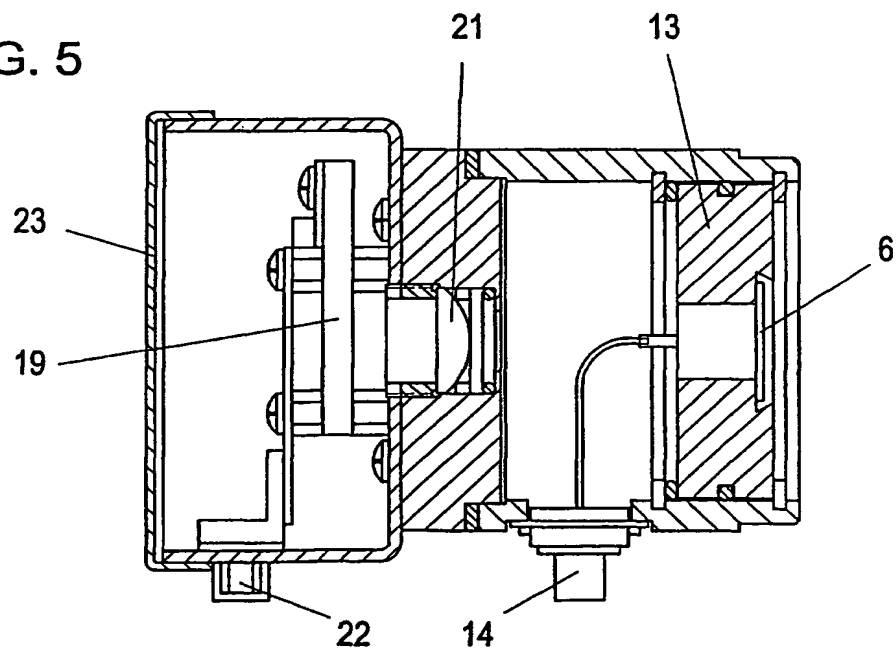
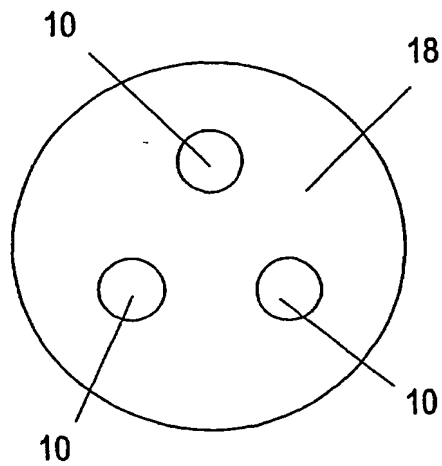


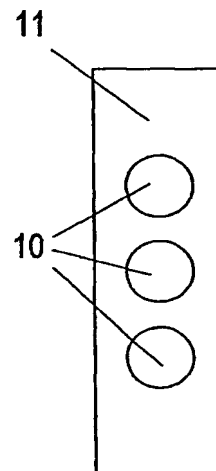
FIG. 5



**FIG. 6a**



**FIG. 6b**



**FIG. 7**

